

materia

Deseño e Construción de Obras Lineais

unidade didáctica 3

Explanacións

Alberte Castro Ponte e Carlos Núñez Temes

Departamento de Enxeñaría Agroforestal
Escola Politécnica Superior



VICERREITORÍA DE EXTENSIÓN
UNIVERSITARIA, CULTURA E SOCIEDADE



unidade didáctica 3

Explanacións

Alberte Castro Ponte e Carlos Núñez Temes
Departamento de Enxeñaría Agroforestal
Escola Politécnica Superior



© Universidade de Santiago de Compostela, 2011

Deseño

Unidixital

Edita

Vicerreitoría de Extensión Universitaria,
Cultura e Sociedade da
Universidade de Santiago de Compostela
Servizo de Publicacións
da Universidade de Santiago de Compostela

Imprime

Unidixital

Servizo de Edición Dixital da
Universidade de Santiago de Compostela

Dep. Legal: C 259-2011

ISBN 978-84-9887-557-7

ADVERTENCIA LEGAL: reservados todos os dereitos.
Queda prohibida a duplicación, total ou parcial desta
obra, en calquera forma ou por calquera medio (elec-
trónico, mecánico, gravación, fotocopia ou outros) sen
consentimento expreso por escrito dos editores.

MATERIA: Deseño e Construción de Obras Lineais
TITULACIÓN: Grao en Enxeñaría Civil
PROGRAMA XERAL DO CURSO
Localización da presente unidade didáctica

MÓDULO I: Enxeñaría de estradas

Unidade 1. Enxeñaría do tráfico

Introdución
Elementos da circulación
Variables características do tráfico por estrada
Estudos de tráfico
Capacidade e niveis de servizo en circulación continua

Unidade 2. Trazado de estradas

Introdución
Parámetros básicos: velocidade e visibilidade
A traxectoria dos vehículos. Interacción roda - pavimento
Trazado en planta
Trazado en alzado
Sección transversal

Unidade 3. Explanacións

Introdución
Estudos xeolóxicos e xeotécnicos
Compactación
Capacidade de soporte
Construción de explanacións
Formación das explanadas. Estabilización

Unidade 4. Drenaxe

Introdución
Drenaxe superficial
Drenaxe subterránea

Unidade 5. Firmes e conservación de vías

Descrición e funcións dos firmes
Características funcionais e estruturais
Constitución do firme e funcións das súas capas
Materiais empregados na formación de firmes
Tipoloxías de firmes
Factores de deseño
Conservación de vías

MÓDULO II: Enxeñaría de ferrocarrís

Unidade 6. O Ferrocarril

Unidade 7. Estrutura da vía

Unidade 8. Deseño xeométrico da vía

Unidade 9. Mecánica da vía

Unidade 10. Conservación e reparación da vía

ÍNDICE

Presentación.....	7
Obxectivos	8
Os principios metodolóxicos.....	8
Actividades propostas	8
Os contidos básicos	9
1. Introducción	9
2. Estudos xeolóxicos e xeotécnicos.....	10
2.1. Obxectivos	10
2.2. Clasificación dos solos	10
3. Compactación.....	12
3.1. Conceptos xerais	12
3.2. Diagrama densidade seca - humidade	13
3.3. Factores que inflúen na compactación	14
3.4. Avaliación cuantitativa en laboratorio: o ensaio Proctor.....	17
3.5. Avaliación cuantitativa en obra: o método nuclear	18
4. Capacidade de soporte	21
4.1. Conceptos xerais	21
4.2. Factores que inflúen na capacidade de soporte.....	21
4.3. Avaliación cuantitativa en laboratorio: o ensaio CBR	22
4.4. Avaliación cuantitativa en obra: o ensaio de carga con placa	23
5. Construción de explanacións	25
5.1. Condicionantes	25
5.2. Operacións de construción	26
6. Formación de explanadas	31
6.1. A explanada	31
6.2. Clasificación e formación das explanadas	31
6.3. Estabilización de solos	32
Avaliación da unidade didáctica	34
Índice de figuras	35
Bibliografía.....	36

PRESENTACIÓN

Esta unidade didáctica forma parte do primeiro módulo da programación da materia “Deseño e Construción de Obras Lineais” do segundo curso do Grao en Enxeñaría Civil, que se dedica a sentar as bases da enxeñaría de estradas.

No primeiro tema do módulo (UD1) preséntanse os conceptos básicos relacionados co tráfico por estrada necesarios para poder abordar o deseño xeométrico, a construción e a conservación dunha estrada.

A continuación, no segundo tema (UD2), estúdanse os conceptos fundamentais, as bases teóricas e os condicionantes normativos do deseño xeométrico ou trazado dunha estrada. Analízanse, un por un, os diversos aspectos do proceso de deseño: trazado en planta, trazado en alzado e sección transversal.

Coa presente unidade didáctica, iníciase a parte do módulo cunha maior dedicación aos aspectos construtivos dunha estrada.

Nesta unidade estúdanse as obras de explanacións, que xunto as obras de drenaxe (UD4) constitúen a infraestrutura dunha estrada. Explícanse os conceptos teóricos e normativos relacionados co deseño e a construción das explanacións: a clasificación e selección dos materiais, os parámetros de deseño e os seus ensaios de caracterización, as operacións de construción, e por último, a clasificación, formación e estabilización de explanadas.

O módulo péchase cun tema no que se aborda a problemática do deseño, construción e conservación dos firmes (UD5), que constitúen a superestrutura dunha estrada. Moitos dos contidos desta unidade didáctica empregáranse de novo neste derradeiro tema.

No segundo módulo da materia estúdase o deseño, construción e conservación doutra tipoloxía de obra lineal, os ferrocarrís. Estas dúas tipoloxías, estradas e ferrocarrís, teñen moitas cousas en común, polo que unha gran cantidade dos contidos traballados no primeiro módulo serán de gran utilidade, senón directamente mediante certas adaptacións, na segunda parte da materia.

A temática que se traballa nesta unidade didáctica está estreitamente vinculada coa enxeñaría do terreo, e principalmente, cos contidos das materias “Enxeñaría do Terreo” e “Obras Xeotécnicas II”. Para un correcto seguimento da unidade didáctica, é necesario que o alumnado teña claros os conceptos relativos a descrición e clasificación dos solos.

A unidade didáctica impártese nun total de cinco horas de clase, entre clases expositivas e prácticas de laboratorio, aínda que debe terse en conta que moitos dos contidos están relacionados coas materias citadas anteriormente.

Ademais de aos alumnos de 2º curso do Grao en Enxeñaría Civil, os contidos presentados poden serlle de utilidade a outros docentes ou profesionais do sector que desenvolvan a súa actividade no ámbito do deseño, construción ou conservación destas tipoloxías de infraestrutura do transporte.

OS OBXECTIVOS

- Coñecer os conceptos teóricos fundamentais e os parámetros básicos de deseño das explanacións.
- Recoñecer as técnicas e a maquinaria empregada nas diferentes fases de construción das explanacións.
- Saber realizar os principais ensaios de laboratorio relacionados cos materiais empregados nas explanacións e interpretar os resultados que proporcionan.
- Saber aplicar a normativa vixente.

OS PRINCIPIOS METODOLÓXICOS

- Os principios teóricos e os contidos fundamentais expóñense nas clases expositivas. Para iso, o profesor empregará os medios audiovisuais da aula para a realización de presentacións.
- O alumno elaborará ao finalizar cada sesión presencial un resumo dos contidos traballados, no que se recollan as súas reflexións sobre a temática abordada.
- Para complementar os contidos teóricos e normativos relacionados coa compactación e a capacidade de soporte dos solos, o alumnado deberá facer unha práctica de laboratorio na que terá a oportunidade de realizar en grupos reducidos os ensaios explicados nas sesións expositivas.
- Unha vez finalizada a práctica, cada grupo deberá entregar un informe descritivo no que se detallarán os equipos empregados, o procedemento, os resultados obtidos e unha breve interpretación dos mesmos. Os grupos terán a oportunidade de elaborar unha versión definitiva do informe, incluíndo as correccións e suxestións realizadas polo profesor.
- Para un mellor coñecemento das técnicas e da maquinaria, propóñense a realización de visitas a obras, fóra do horario contemplado para a unidade didáctica, nas que se estean realizando labores de construción de explanacións.

ACTIVIDADES PROPOSTAS

Como ampliación e aplicación dos contidos teóricos traballados nas sesións expositivas, propónse a realización das seguintes actividades:

- práctica de laboratorio (3 horas) onde se realizarán en grupos reducidos os principais ensaios relacionados coas explanacións;
- análise de datos de ensaios reais, tanto de laboratorio como de obra, co obxectivo de interpretar e comentar os resultados obtidos;
- visitas a obra para ilustrar os coñecementos relativos as técnicas e a maquinaria de construción empregada nas obras de explanacións.

OS CONTIDOS BÁSICOS

1. Introducción

As explanacións, tamén denominadas obras de terra, son actuacións mediante as cales se modifica o terreo natural existente co obxectivo de alcanzar unha superficie de apoio adecuada para a superestrutura dunha estrada, constituída polo firme e as dotacións viarias.

A xeometría desta superficie debe coincidir, cumprindo coas tolerancias admitidas, coa subrasante definida polo trazado da estrada. Ademais, debe ter unha capacidade de soporte apropiada que lle permita resistir o peso propio da superestrutura e das cargas de tráfico previstas, sen sufrir deformacións excesivas.

As explanacións clasifícanse en tres tipos en función da necesidade de achegar ou retirar material do terreo natural:

- desmorte: se é preciso retirar material;
- recheo: se é preciso aportar material;
- a media ladeira: se é preciso realizar ambas operacións.

A súa vez, os recheos denomínanse dun modo diferente en función do tamaño característico das partículas do material empregado na súa construción.

- terraplén: tamaño característico entre 0 e 10 cm;
- pedraplén: tamaño característico entre 10 e 60 cm;
- todo un: tamaño característico entre 0 e 30 cm.

Dentro do orzamento de execución dunha vía, as explanacións representan unha das partidas de gasto máis elevadas. Por iso, e tendo en conta criterios medioambientais, é fundamental alcanzar, durante a fase de deseño da estrada, unha solución de equilibrio que permita compensar, en gran medida, os volumes de material entre desmontes e recheos.

Doutra banda, o seu elevado custo económico e a dificultade de realizar tratamentos ou reparacións durante a fase de explotación dunha estrada, esixen unha correcta execución das obras de explanacións para garantir unha adecuada explotación sen elevados gastos en conservación.



Figura 1.1: Obras de explanacións

2. Estudos xeolóxicos e xeotécnicos

2.1. Obxectivos

Para poder levar a cabo unha correcta execución das obras de explanacións, é unha tarefa indispensable a realización dos estudos e dos recoñecementos xeolóxicos e xeotécnicos necesarios, que permitan prever os posibles problemas e propor solucións para evitar os ou limitar os seus efectos ata límites aceptables.

Os problemas xeotécnicos máis habituais neste tipo de obras son: asentos excesivos do terreo, inestabilidade de noiros, erosións e socavamentos, etc; sendo as principais causas da súa aparición o emprego de materiais de características inadecuadas, unha execución defectuosa ou inaxeitada e, por último, a acción da auga.

Os estudos e recoñecementos débense realizar de forma que permitan estudar en detalle os seguintes aspectos:

- escavabilidade dos materiais que constitúen o terreo natural;
- grao de aproveitamento dos materiais e posibles tratamentos;
- localización de canteiras e préstamos;
- estabilidade de desmontes e recheos;
- inclinación necesaria dos noiros;
- capacidade de soporte das explanadas;
- método construtivo máis axeitado;
- asentos previsibles e eventuais tratamentos para reducilos;
- erosionabilidade dos materiais;
- posición do nivel freático;
- cimentación de estruturas.

2.2. Clasificación dos solos

O “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)” no seu artigo nº 330 establece unha clasificación dos solos para o seu emprego na construción de recheos tipo terraplén.

Esta clasificación ordena os solos en cinco categorías de maior a menor calidade: solos seleccionados, adecuados, tolerables, marxinais e inadecuados; en función dunha serie de parámetros relacionados coas propiedades dos solos.

Ademais, o PG-3 define as zonas que constitúen un recheo deste tipo, e establece que categorías de solos se poden empregar en cada unha delas. Estas zonas son as seguintes:

- coroación: zona superior sobre a que se asenta o firme;
- cemento: zona inferior en contacto coa superficie de apoio;
- núcleo: zona intermedia entre a coroación e o cemento;
- lombo: zona exterior que constitúe os noiros.

A zona de coroación é a máis importante xa que sobre ela se apoiará a superestrutura da estrada. Por iso, nesta zona soamente se permite o emprego de solos seleccionados e adecuados. En cambio, nas

restantes zonas, ademais de solos seleccionados e adecuados, admítense tamén solos tolerables.

Todos los suelos para terraplén deben cumplir $\#20 > 70\%$ ó $\#0,08 \geq 35\%$

SELECCIONADOS		ADECUADOS	TOLERABLES	MARGINALES	
<0,2%		<1%	<2%	apdo 330.4.4.5	Materia orgánica
<0,2%		<0,2%	YESO <5%	apdo 330.4.4.3	Sales solubles
			OTRAS <1%	apdo 330.4.4.4	
—		—	<3%	<5% apdo 330.4.4.2	Hinchamiento libre
—		—	<1%	apdo 330.4.4.1	Asiento en ensayo de colapso
≤100		≤100	—	—	Tamaño máximo (mm)
#0,4≤15%	#2<80%	#2<80%	—	—	Otras condiciones granulométricas
	#0,4<75%		—	—	
	<25%	<35%	—	—	Finos (#0,08)
	SEGÚN GRÁFICO ADJUNTO				Plasticidad

(*) en caso de cumplir la condición indicada, se esta exento del resto de las comprobaciones de granulometría y plasticidad

#n =A% porcentaje en peso que pase por tamiz n UNE

(#n = N° de tamíz de la serie UNE)

Figura 2.1: Clasificación dos solos

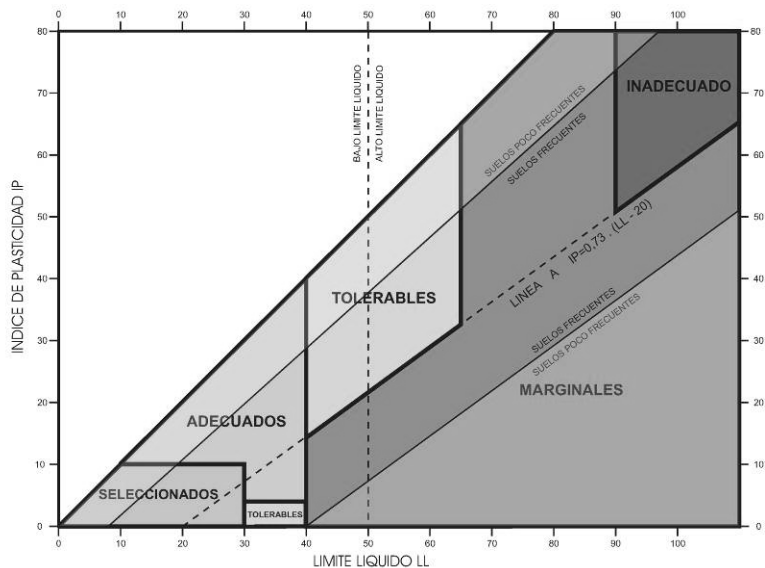


Figura 2.2: Criterio de clasificación dos solos segundo a súa plasticidade

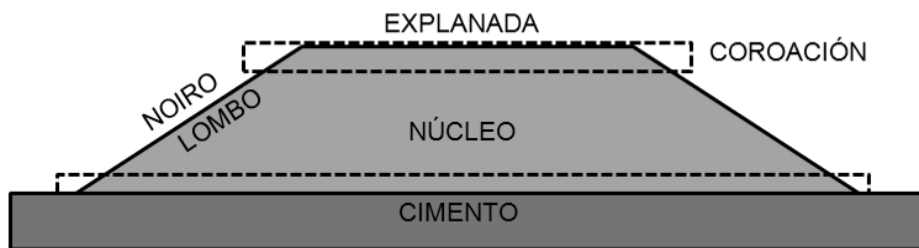


Figura 2.3: Zonas dun recheo tipo terraplén

3. Compactación

3.1. Obxectivos

Para cumprir axeitadamente a súa función, unha boa infraestrutura dunha estrada debe ter unhas propiedades que, inicialmente, os solos empregados na súa construción non posúen.

Estas propiedades son: estabilidade volumétrica e resistencia. A infraestrutura debe manter as súas dimensións, e non debe deteriorarse baixo o efecto das cargas de tráfico, o peso propio dos recheos e do firme, as infiltracións de auga e os axentes climáticos.

Para alcanzar estas propiedades pódense aplicar varios tratamentos, sendo o máis empregado o proceso de compactación, polo seu reducido custo económico e a súa elevada eficacia.

No proceso de compactación os materiais esténdense en capas ou camadas de espesor uniforme. A cada unha destas capas aplícaselle unha determinada cantidade de enerxía mecánica por medio de máquinas pesadas denominadas compactadores.

Deste xeito, conséguese un aumento da densidade do solo e do rozamento interno entre partículas; e unha redución dos ocos existentes entre partículas. Como consecuencia, auméntase a resistencia mecánica do solo, redúcese o risco de deformación volumétrica, e protéxese o solo dos axentes atmosféricos que poderían alterar as súas propiedades físicas e químicas.

É moi importante destacar as diferenzas existentes entre os procesos de compactación e consolidación dun solo para evitar calquera tipo de confusión.

Ambos procesos producen un aumento da densidade do solo. Na compactación conséguese mediante a expulsión rápida de aire por mor da actuación de maquinaria de compactación. En cambio, na consolidación alcázase mediante a expulsión lenta de aire e auga por mor do peso propio e das sobrecargas. Polo tanto, a compactación é un proceso rápido e de carácter artificial, mentres a consolidación é un proceso lento e de carácter natural.

Para poder executar de forma axeitada o procedemento de compactación é preciso levar a cabo as seguintes tarefas:

- seleccionar os materiais máis axeitados en función das características resistentes que se pretenden alcanzar despois do proceso de compactación;
- seleccionar a maquinaria máis adecuada para o material escollido;
- definir os detalles do proceso: espesor das camadas, número de pasadas e humidade óptima de compactación;
- establecer un procedemento de control da calidade cun criterio claro para poder aceptar ou rexeitar a compactación.

3.2. Diagrama densidade seca - humidade

Durante a compactación prodúcese un aumento da densidade do solo por mor da redución do volume de ocos e a expulsión do aire. Non obstante, a cantidade de auga que contén o solo non se modifica e, polo tanto, a humidade do solo non varía. Por iso, o parámetro máis axeitado para controlar o proceso de compactación é a densidade seca (ρ_d) ou, no seu lugar, o peso específico (γ_d) do solo.

Este parámetro actúa como un indicador intermedio da calidade da compactación e será preciso alcanzar un determinado valor para a súa aceptación. O adxectivo intermedio emprégase para deixar constancia de que o obxectivo da compactación non é alcanzar unha determinada densidade seca, senón que o solo compactado teña unha capacidade de soporte axeitada.

O estado dun determinado solo pódese analizar mediante o diagrama densidade seca – humidade, en función das súas fases. A humidade do solo (w) represéntase no eixo de abscisas, e a densidade seca (ρ_d) no eixo de ordenadas.

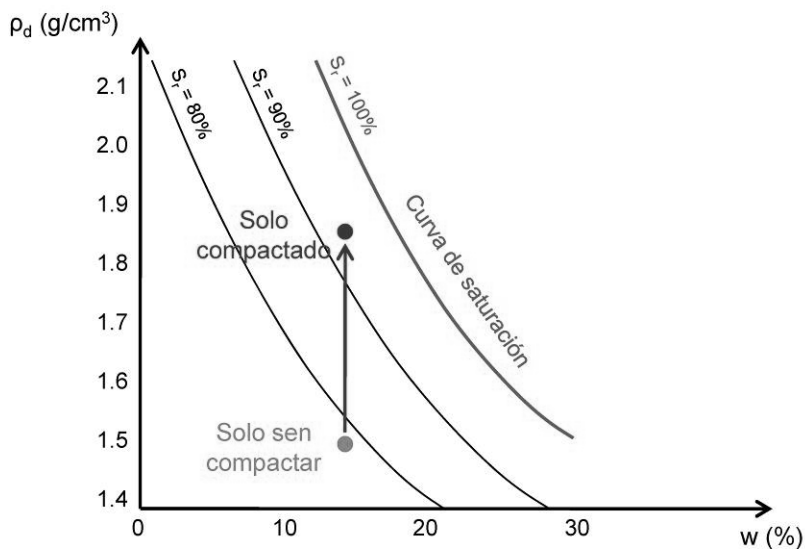


Figura 3.1: Diagrama densidade seca – humidade

Inicialmente, un solo sen compactar presenta unha humidade, unha densidade seca e un determinado grao de saturación (S_r). Despois da compactación, a densidade seca incrementase debido á redución do volume de ocos ocupado polo aire, pero a humidade permanece constante.

A compactación será efectiva cando se acade un determinado valor de densidade seca. Porén, debido á gran variabilidade de comportamento dos solos, non se pode establecer un valor absoluto de densidade seca como criterio de aceptación da compactación.

Recórrase a un valor relativo denominado grao de compactación que se obtén comparando o valor obtido despois da compactación cun valor de referencia determinado no laboratorio para ese solo específico.

3.3. Factores que inflúen na compactación

O valor de densidade seca que se pode alcanzar coa compactación depende principalmente dos seguintes factores: a humidade do solo, a magnitude e o mecanismo de aplicación da enerxía de compactación, e por último, o tipo de solo.

3.3.1. Humidade de compactación

A cantidade de auga que contén o solo inflúe no resultado final do proceso de compactación. Se varias mostras do mesmo solo, con diferentes humidades, se someten ao mesmo procedemento de compactación os valores obtidos de densidade seca non serán os mesmos.

Polo tanto, débese determinar o valor óptimo de humidade do solo para o cal se consegue o máximo valor de densidade seca. Para iso, determínase a curva densidade seca – humidade, compactando un número suficiente de mostras de solo con diferentes humidades, mediante un procedemento normalizado.

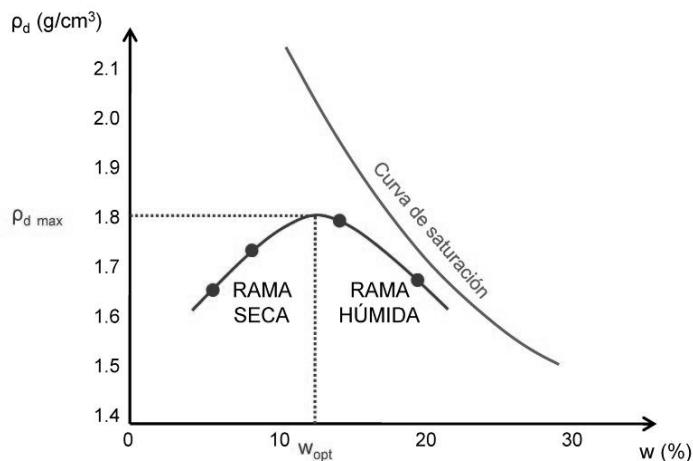


Figura 3.2: Curva densidade seca – humidade

Pódense distinguir na curva dúas zonas ben diferenciadas. Unha zona denominada rama seca na que un aumento da humidade de compactación provoca un incremento na densidade seca obtida; e unha zona denominada rama húmida na que se produce o efecto contrario.

Na rama seca, a auga actúa como lubricante entre as partículas minerais do solo, o que favorece que a enerxía de compactación se converta en presión efectiva entre as partículas. Pola contra, na rama húmida, a cantidade de auga é excesiva, o que provoca que gran parte da enerxía de compactación se transmita á auga en vez de ás partículas.

3.3.2. Enerxía de compactación

A magnitude (E) e o mecanismo de aplicación da enerxía de compactación tamén inflúen no proceso. Se o mesmo tipo de solo se compacta con diferentes enerxías de compactación, obtéñense diferentes curvas densidade seca – humidade.

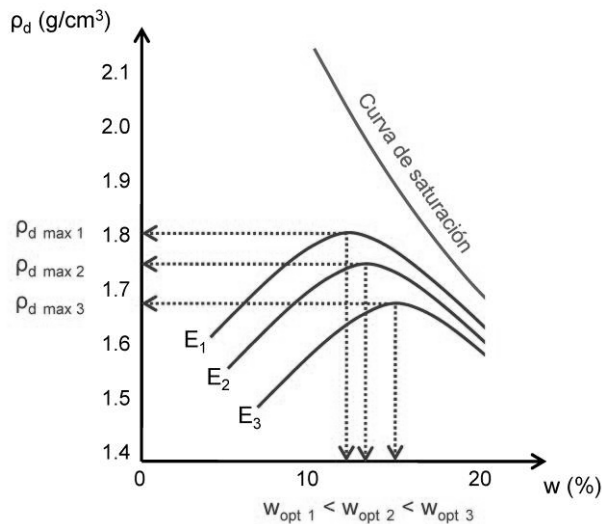


Figura 3.3: Curvas densidade seca – humidade obtidas co mesmo solo para diferentes enerxías de compactación

Maiores enerxías de compactación proporcionan maiores valores de densidade seca máxima e menores valores de humidade óptima.

Polo tanto, pódese concluír que non é posible alcanzar calquera valor de densidade seca aumentando a enerxía de compactación se o solo en cuestión ten unha humidade excesiva.

O mecanismo de transmisión da enerxía inflúe tamén na forma da curva densidade seca – humidade. Existen varios tipos de compactadores que responden a un ou varios principios de funcionamento: presión estática ou compresión (sen ou con amasado), impacto ou vibración. A eficacia de cada un deles depende principalmente do tipo de solo que se pretende compactar.

En solos granulares, os compactadores máis eficaces son os de tipo vibratorio, mentres que en solos cohesivos obtéñense valores máis elevados de densidade seca mediante compresión parcial con amasado, como a que realizan os compactadores de patas de cabra ou pneumáticos.



Figura 3.4: Compactación por presión estática sen amasado



Figura 3.5: Compactación por presión estática con amasado (esquerda) e por vibración (dereita)

3.3.3. Tipo de solo

A curva densidade seca – humidade depende tamén do tipo de solo obxecto da compactación. Os solos granulares ben graduados son moi sensibles á humidade, o que se traduce en curvas picudas, con valores altos de densidade seca asociados a humidades óptimas baixas. Pola contra, os solos arxilosos ou cohesivos caracterízanse por curvas tendidas con densidades secas máis baixas e humidades óptimas elevadas.

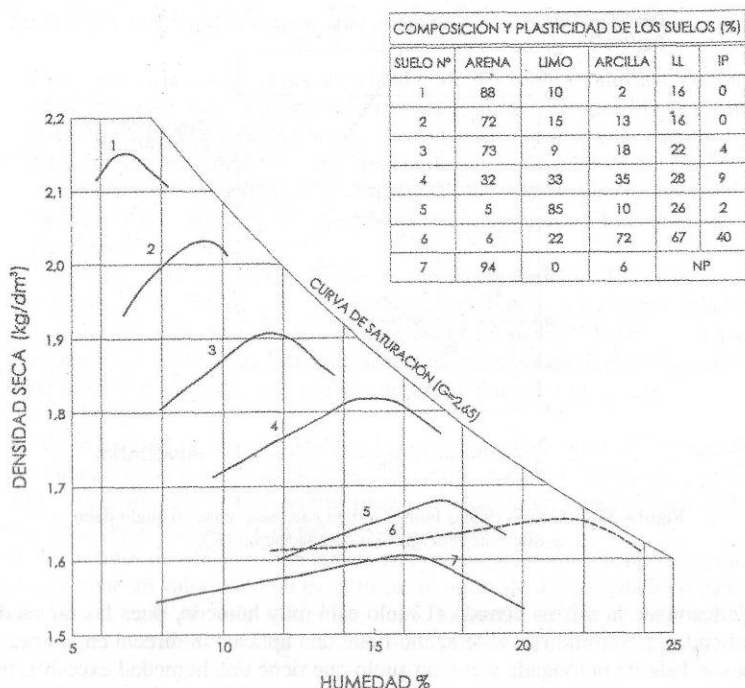


Figura 3.6: Curvas densidade seca – humidade obtidas con diversos tipos de solo
(Fonte: Johnson y Sallberg)

3.4. Avaliación cuantitativa en laboratorio: o ensaio Proctor

O ensaio Proctor é un procedemento normalizado que se emprega para caracterizar no laboratorio o proceso de compactación dun solo. Este método permite definir a curva densidade seca – humidade para unha enerxía de compactación específica. Unha vez coñecida a curva, pódese determinar a densidade seca máxima que se pode alcanzar no laboratorio con ese solo e a humidade óptima de compactación correspondente.

Para definir a curva densidade seca – humidade realízase a compactación de varias probetas da mesma mostra de solo con diferentes humidades. Cada unha delas proporciona un valor de densidade seca, o que permite representar un punto da curva. En xeral, catro ou cinco puntos

son suficientes para definir axeitadamente a curva e posteriormente determinar a densidade seca máxima e a humidade óptima.

Existen dous tipos de ensaio: o Proctor normal e o Proctor modificado. O procedemento é similar en ámbolos dous casos, pero no Proctor modificado emprégase unha maior enerxía de compactación e unha probeta máis grande.

O procedemento normal empregouse de forma xeneralizada ata mediados do século pasado cando se propuxo o procedemento modificado, como consecuencia do aumento das cargas de tráfico, o emprego de materiais de maiores tamaños, o desenvolvemento da maquinaria pesada de compactación, e a utilización de ligantes e conglomerantes.

En España, o PG-3 establece como ensaio de referencia o Proctor modificado, aconsellando a utilización do ensaio Proctor normal no caso de solos expansivos.

3.5. Avaliación cuantitativa en obra: O método nuclear

O control do proceso de compactación en obra é moito máis complicado que no laboratorio. En obra é difícil conseguir que o solo teña a humidade óptima establecida a partir do ensaio Proctor, e que a cantidade de auga estea uniformemente repartida. Ademais, é practicamente imposible comunicar a mesma cantidade de enerxía a todo o volume de solo. Para superar estas limitacións, en obra óptase por aplicar unha enerxía de compactación por unidade de volume maior ca do ensaio Proctor.

Aplicando unha enerxía maior, obtense unha curva densidade seca – humidade en obra que se sitúa por riba da correspondente ao ensaio Proctor realizado no laboratorio. A densidade seca máxima é maior en obra e o valor correspondente de humidade óptima redúcese.

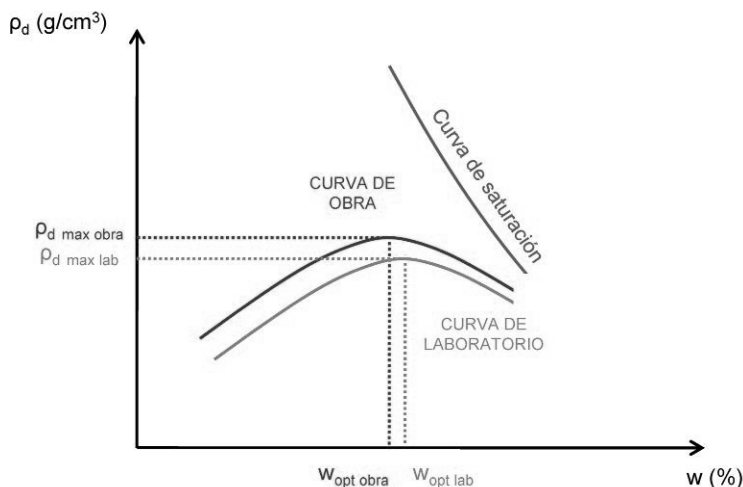


Figura 3.7: Curvas densidade seca – humidade obtidas co mesmo solo en laboratorio e obra.

Para aceptar a compactación dunha capa de solo, é necesario verificar que se alcanzaron unhas condicións mínimas de densidade seca e humidade establecidas a priori.

Na zona de coroación, a densidade seca despois da compactación debe ser igual ou superior á densidade máxima obtida no ensaio Proctor de referencia; é dicir, esíxese un 100% do valor de referencia. Nas restantes zonas, é preciso alcanzar un valor de densidade igual o superior o 95% da densidade de referencia.

En canto á humidade, o control faise a través do grao de saturación do solo, xa que este representa moito mellor o seu estado. A humidade do solo debe ser tal que o grao de saturación se encontre comprendido entre os correspondentes a humidades w_1 e w_2 , dun -2% e un +1% da humidade óptima respectivamente. No caso de solos expansivos ou colapsables, os límites de saturación serán os correspondentes a humidades dun -1% e un +3% da humidade óptima.

O método máis empregado para a determinación da densidade seca e a humidade do solo en obra é o método nuclear, baseado nos principios asociados á emisión e absorción de partículas subatómicas.

A medición realízase cun aparato que ten unha barra que se introduce no terreo. Esta barra consta dun emisor de raios gamma, unha pantalla que impide o seu paso polo seu interior, e un receptor. A cantidade de fotóns gamma que recibe o receptor depende da densidade do medio (efecto Compton), permitindo determinar o seu valor indirectamente.

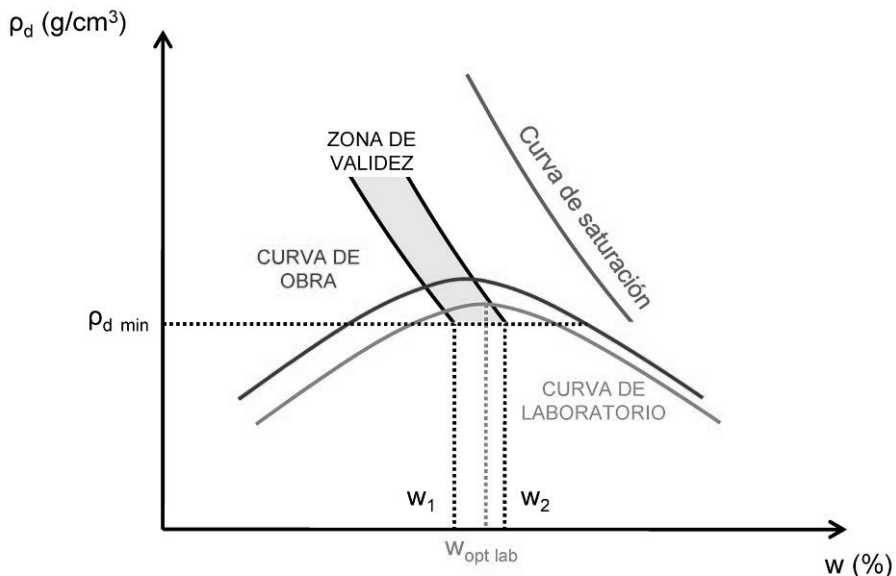


Figura 3.8: Zona de validez ou aceptación da compactación en obra

A humidade do solo tamén se pode determinar empregando outro tipo de partículas, neste caso, partículas alpha que son absorbidas pola auga.

As vantaxes do método nuclear son as seguintes:

- é un método rápido (10-15 min).
- non destrutivo;
- permite medir varias veces no mesmo sitio;
- permite medir á profundidade desexada (non superior aos 50 cm);
- permite almacenar datos en soporte informático.

Pola contra, os seus inconvenientes son:

- precisa ser calibrado para cada tipo de solo;
- debido ás súas características radioactivas, require medidas de seguridade específicas, tanto para o seu almacenamento, como para o seu emprego. Esíxense operadores cualificados e autorizados.



Figura 3.9: Aparato empregado na aplicación do método nuclear (Troxler)



Figura 3.10: Operario medindo a densidade e a humidade dunha capa de coración co método nuclear

4. Capacidade de soporte

4.1. Conceptos xerais

As obras de explanacións deben proporcionar unha superficie de apoio cunha regularidade xeométrica e unha resistencia mecánica axeitada de xeito que poida resistir as cargas do firme e as cargas de tráfico sen excesivas deformacións.

Cando se fai referencia ás características xeométricas desta superficie de apoio emprégase o termo explanada. Pola contra, cando se fai alusión a súa capacidade de soporte emprégase o termo cimento do firme.

O cimento do firme está constituído polas capas de solo inmediatamente inferiores á explanada e o seu estudo é fundamental para garantir un correcto comportamento do firme durante a fase de explotación.



Figura 4.1: Firme, explanada e cimento do firme

Tradicionalmente, analizábase exclusivamente o comportamento da zona de coroación. Porén, na actualidade, estúdase o comportamento resistente non só da zona de coroación senón tamén das súas capas de apoio, acadando espesores totais de polo menos 1 m.

As cargas de tráfico actúan directamente sobre o firme que ten a misión de distribuílas a través das súas capas ata acadar o cimento. Deste xeito, as cargas que chegan ao cimento son moito menores cás iniciais debido á atenuación de tensións que se produce nas capas do firme.

Se o cimento presenta unha calidade insuficiente será necesario incrementar os espesores das capas de firme para reducir as tensións transmitidas. Tendo en conta que a partida de firmes consume unha elevada cantidade do orzamento dunha obra deste tipo, é fundamental contar con cimentos da mellor calidade posible.

Para determinar a calidade dun cimento analízase a súa resistencia á deformación baixo as cargas de tráfico, denominada capacidade de soporte.

4.2. Factores que inflúen na capacidade de soporte

A capacidade de soporte depende principalmente dos seguintes factores:

- a resistencia ao esforzo cortante dos materiais que constitúen o cimento. Este parámetro depende á súa vez da forma das partículas, a densidade seca acadada e a humidade de compactación.

-as variacións de humidade que se producen na zona. En xeral, os solos presentan unha menor capacidade de soporte a medida que se incrementa a humidade.

4.3. Avaliación cuantitativa en laboratorio: O ensaio CBR

O ensaio CBR é un procedemento normalizado empregado para determinar en laboratorio a capacidade de soporte dun solo. Consiste en someter unha mostra de solo á penetración dun pistón a unha velocidade constante, e comparar o seu comportamento co correspondente a unha mostra patrón de referencia.

A capacidade de soporte do solo exprésase en función do índice CBR que representa a porcentaxe da forza exercida por un pistón sobre o solo con respecto á forza exercida sobre a mostra patrón, cando o pistón se introduce a unha velocidade de penetración constante.

Para determinar o índice CBR mídense as deformacións dunha probeta de solo a medida que se vai aumentando a forza exercida polo pistón.

O solo debe estar previamente compactado coa humidade óptima obtida no ensaio Proctor de referencia. Ademais, para simular o efecto do firme sitúase sobre o solo unha sobrecarga.

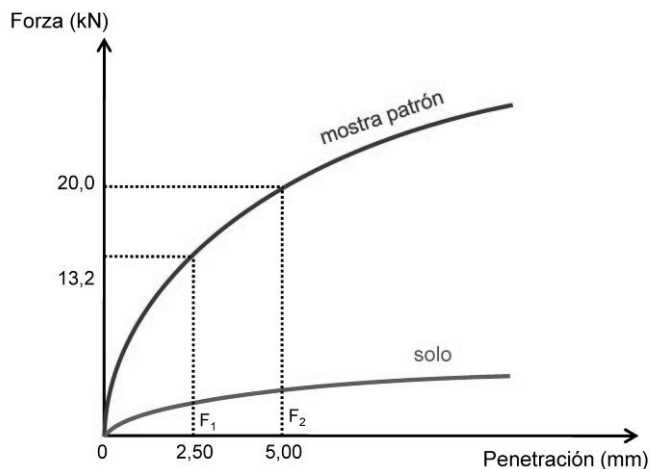


Figura 4.2: Representación gráfica dos resultados dun ensaio CBR

O índice CBR obtense a partir das forzas necesarias para penetrar no solo 2,50 mm e 5,00 mm, denominadas F_1 e F_2 respectivamente, aplicando a seguinte expresión:

$$CBR = \max \left[\frac{F_1}{13,2}, \frac{F_2}{20,0} \right] \cdot 100$$

Este valor depende do grao de compactación da probeta.

Para determinar o índice CBR de proxecto realízase o procedemento con tres probetas compactadas con diferentes enerxías. A norma UNE 103502/1995 establece que as enerxías de compactación de cada probeta deben ser iguais o 25%, 50% e 100% da correspondente ao ensaio Proctor de referencia.

Para cada probeta obtéñense a súa densidade seca e o seu índice CBR, e represéntanse nun gráfico. Determináase a curva de mellor axuste e selecciónase como CBR de proxecto o correspondente á densidade seca mínima esixida en obra (figura 4.3).

Tendo en conta que a densidade seca mínima esixida pode chegar a ser do 100% da densidade obtida no ensaio Proctor, pode ser recomendable empregar outras enerxías de compactación para mellorar a interpolación, por exemplo enerxías iguais o 20%, 50% e 120% da enerxía de referencia.

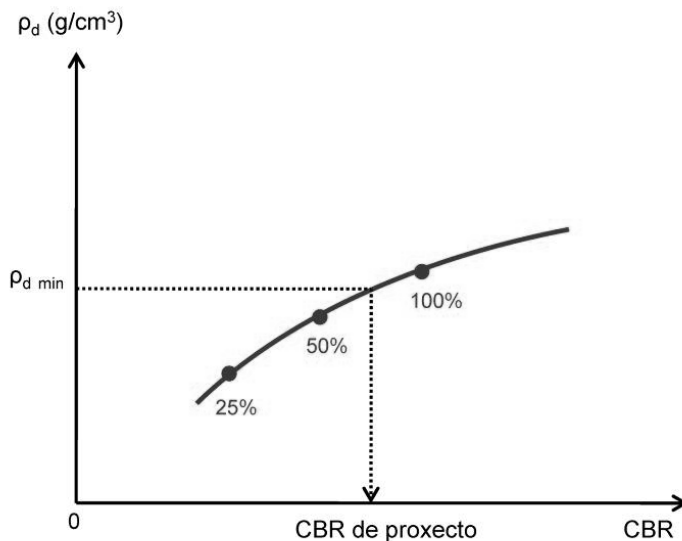


Figura 4.3: Determinación gráfica do CBR de proxecto

O PG-3 no seu artigo nº 330 establece un valor mínimo esixible en función da zona considerada. Na zona de coroación débese empregar un material cun $\text{CBR} \geq 5$, mentres que no núcleo e no cimento é suficiente cun material de $\text{CBR} \geq 3$.

4.4. Avaliación cuantitativa en obra: O ensaio de carga con placa

O ensaio de carga con placa emprégase para avaliar a capacidade de soporte en obra dunha capa que xa foi compactada.

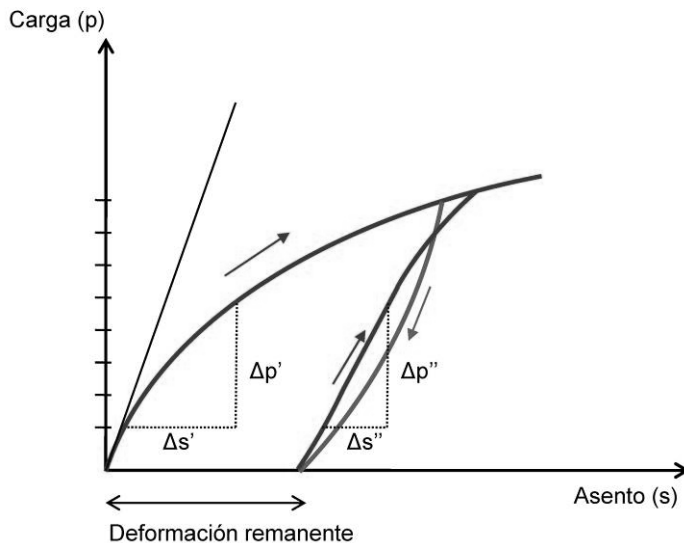
Consiste na aplicación dunhas cargas determinadas sobre unha placa circular apoiada sobre a capa de solo que se quere avaliar.



Figura 4.4: Execución dun ensaio de carga con placa

Analizando a resposta da capa en forma de asentos, pódese relacionar a presión exercida pola placa e os asentos inducidos. A relación existente entre estas variables depende directamente da capacidade de soporte da capa.

Durante o ensaio aplícanse dous ciclos de carga cunha descarga intermedia e vanse anotando os asentos inducidos. Cada ciclo debe consistir polo menos en seis ou máis escalóns de carga de valor aproximadamente constante.



Unha vez rematado o ensaio, represéntanse nun gráfico as cargas aplicadas e os seus asentos correspondentes, e determínanse os módulos de compresibilidade de cada ciclo de carga mediante a seguinte expresión:

$$M_E = \frac{\Delta p_i}{\Delta s_i} \cdot D$$

onde

M_E	Módulo de compresibilidade
Δp_i	Diferenza de carga específica entre dous escalóns de carga
Δs_i	Diferenza de asentos obtida da aplicación de Δp_i
D	Diámetro da placa

O módulo de compresibilidade serve para avaliar cuantitativamente a capacidade de soporte do solo en cuestión.

O PG-3 establece dous criterios de aceptación: por unha banda, o módulo de compresibilidade obtido no segundo ciclo de carga (E_{v2}) debe ser igual ou superior a un valor mínimo establecido en función do tipo de material e da zona onde se dispoña; por outra banda, a relación (K) entre os módulos de compresibilidade do segundo (E_{v2}) e do primeiro ciclo (E_{v1}) debe ser inferior ou igual a 2,2.

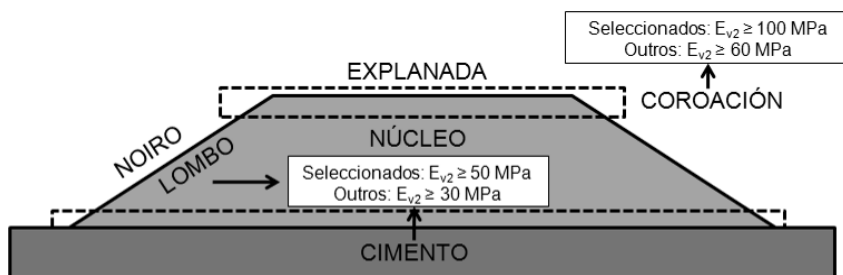


Figura 4.6: Módulos de compresibilidade mínimos segundo o material e a súa zona de colocación

5. Construción de explanacións

5.1. Condicionantes

Na fase de planificación da execución das explanacións é necesario ter en conta a existencia dunha serie de condicionantes que poden afectar aos traballos de construción. Estes condicionantes poden ser de dous tipos: externos e internos.

Os condicionantes externos máis importantes son:

- grao de protección ambiental (posibilidade de contar con préstamos e vertedoiros, limitacións de envergadura das obras);
- paradas obrigatorias en certas épocas do ano;
- necesidade de realizar desvíos de tráfico;
- mantemento do tráfico en ampliacións sen posibilidade de desvíos.

Os condicionantes internos máis destacados son:

- meteoroloxía
- ritmo de produción.

5.2. Operacións de construción

As obras de explanacións teñen por obxectivo proporcionar unha superficie de apoio adecuada, cunha xeometría regular, unha capacidade de soporte elevada e repartida uniformemente, e unha suficiente protección ante a acción da auga.

Para alcanzar este obxectivo é necesario que a súa construción se realice seguindo unha serie de operacións que teñen un orden cronolóxico establecido. Estas operacións son as seguintes:

- operacións previas;
- arranque;
- carga e transporte de materiais;
- estensión;
- compactación;
- control de calidade;
- terminación e refino das superficies.

5.2.1. Operacións previas

Previamente, antes do comezo dos traballos específicos de construción das explanacións é necesario realizar unha serie de preparativos na zona onde se vai a localizar a obra.

Débese proporcionar acceso á traza da obra. Os accesos deben permitir unha circulación segura e cunha velocidade considerable para non retardar os traballos.

Se existe unha estrada próxima pódese empregar como eixo principal do que saen os diversos accesos. Neste caso é fundamental ter en conta o aumento de tráfico pesado e valorar a necesidade de reforzar a vía.

Ademais, é preciso levar a cabo a retirada das servidumes e os servizos que afecten á traza, e que poidan converterse nun risco potencial ou unha incomodidade para os traballos. Os casos máis comúns son a retirada de camiños, liñas eléctricas, liñas de gas, liñas de abastecemento, liñas telefónicas, etc. O custo de retirada e restablecemento dos servizos débese contemplar como unha partida máis no orzamento da obra.

Outra operación previa son os traballos de despexe e roza. O despexe consiste na eliminación dos elementos físicos (edificacións, estruturas, árbores, etc.) que supoñen un obstáculo para os equipos de construción de explanacións. Os traballos de roza teñen por finalidade a retirada da cuberta vexetal (terra vexetal, herba e arbustos) que cobre o terreo. É primordial que as operacións de despexe e roza teñan o menor impacto ambiental posible, procurando conservar a maior cantidade posible de especies.

Para rematar, débense construír tamén as obras de drenaxe transversal xa que, como é lóxico, os recheos situaranse sobre elas. Ademais, na medida que sexa posible, é conveniente iniciar a construción dos sistemas de drenaxe subterránea para conseguir un descenso do nivel freático e facilitar a execución das explanacións.

5.2.2. Arranque

O primeiro que hai que facer para poder retirar material daquelas zonas onde sexa preciso é desagregalo e separalo en porcións máis pequenas, de xeito que sexa posible o seu transporte mediante equipos mecánicos. O proceso mediante o cal se realiza esta operación denomínase tecnicamente arranque.

En función da maior ou menor dificultade para escavar os materiais, o PG-3 clasifica as escavacións en tres tipos: escavación en terra, en terreo de tránsito ou en rocha. Cada tipo de escavación require procedementos e maquinaria específica e, evidentemente, terá un custo económico diferente.

No primeiro caso, escavación en terra, pódense empregar diferentes medios mecánicos:

- pa escavadora hidráulica de eirugas (figura 5.1): emprégase con materiais brandos con certa cohesión ou en escavacións de grandes dimensións. Non necesita axuda de tractores para escavar e pode traballar en terreos húmidos ou irregulares;

- explanadora ou bulldozer (figura 5.2): traballa de xeito horizontal; é dicir, escavando sucesivas capas de terreo. Emprégase cando a distancia de transporte é curta;

- mototrailla (figura 5.3): traballa de xeito similar á explanadora, pero ademais da función de arranque integra as funcións de carga, transporte e descarga.

En terreos máis difíciles de escavar, escavación en terreo de tránsito, a maquinaria anterior non proporciona rendementos suficientes. Nese caso, se o material a escavar é relativamente brando e está parcialmente fisurado pódense empregar escarificadores para facilitar os traballos. Esta ferramenta ten un número variable de dentes que penetran no terreo profundidades de ata 60 cm a medida que é arrastrada por un tractor de potencia considerable.

Por último, a escavación en rocha caracterízase pola presenza de materiais de escasa escavabilidade o que non permite recorrer aos medios anteriores. Ante esta situación, a solución é o emprego de explosivos en diversas operacións de voadura. Para iso, realízanse unha serie de perforacións na roca onde se colocan os explosivos que posteriormente serán detonados.

Na planificación dunha operación de voadura hai que ter en conta unha serie de parámetros: resistencia da roca, tamaño máximo desexado, disposición e magnitude da carga, secuencia de voadura, seguridade, nivel freático, etc.

5.2.3. Carga e transporte

Unha vez disgregado o material hai que cargalo nunha máquina adecuada e transportalo ata a súa localización definitiva. A selección da maquinaria depende principalmente da distancia de transporte:

- distancias > 1 km: pa cargadora + camións. O número óptimo de camións depende da distancia, sendo desexable que o tempo de espera da pa cargadora sexa o mínimo posible.

- distancias entre 50 m e 2 km: mototrailla (scrapper). Son de gran eficacia se o transporte realízase dentro da propia obra e o material escavado é de escasa cohesión e escasos centímetros de tamaño máximo.
- distancias < 50 m: explanadora (pá de empuxe).



Figura 5.1: Pa escavadora cargando nun camiión o material escavado



Figura 5.2: Explanadora (bulldozer) con escarificadores na parte traseira



Figura 5.3: Mototrailla

5.2.4. Extensión

Os materiais empregados na construción de explanacións débense estender en capas ou camadas regulares dun determinado espesor que serán compactadas posteriormente.

O espesor que debe ter cada capa depende do tipo e da humidade do solo, da maquinaria de compactación que se vaia a empregar e do grao de compactación desexado. O obxectivo é empregar un espesor que permita obter o máximo rendemento posible, cumprindo os requisitos de calidade da compactación e de capacidade de soporte. En terrapléns, os espesores idóneos oscilan entre 0,15 e 0,60 m, aínda que en certos casos pódense alcanzar valores maiores.

O material pode estenderse mediante explanadoras no caso de camadas grandes, ou mediante maquinaria especializada, xeralmente motoniveladoras, cando se require unha maior precisión.

Os traballos de extensión deben paralizarse se a temperatura alcanza valores demasiado baixos ($< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou en caso de choiva entre moderada e intensa.

5.1.5. Compactación

Antes de proceder á compactación das capas de material é necesario definir unha serie de parámetros fundamentais: espesor das capas, humidade de compactación, peso do compactador, amplitude e frecuencia da vibración, e número de pasadas do compactador.

Para iso, realízanse probas de compactación sobre un tramo que non pertenza á obra definitiva. Os parámetros obtidos neste tramo de proba servirán de referencia para os traballos de compactación mentres non sexa necesario modificalos debido a variacións nas características dos solos.

5.1.6. Control de calidade

Durante a fase de construción das explanacións é imprescindible contar cun procedemento establecido de control de calidade que permita identificar a tempo as posibles deficiencias e aplicar as medidas correctoras oportunas. O procedemento de control de calidade debe ser acorde ao obxectivo que se pretende alcanzar e de sinxelo cumprimento.

O control de calidade débese realizar sobre os materiais, o proceso e o produto terminado. Na seguinte táboa recóllense os procesos ou ensaios empregados para o control de calidade da compactación.

O control de calidade do produto terminado ten por finalidade determinar se a capacidade de soporte do solo unha vez compactado é suficiente para soportar as cargas ás que estará sometido sen deformacións excesivas.

A capacidade de soporte pódese avaliar directamente co ensaio de carga con placa, pero este procedemento é caro e lento, polo que se emprega en contadas ocasións. Xeralmente, o que se fai é comprobar que o solo alcanzou a densidade seca mínima esixida e ten unha humidade

adecuada mediante o método nuclear, xa que este procedemento é moito máis económico e consome moito menos tempo.

Táboa 5.1: Procesos ou ensaios de control de calidade da compactación

Tipo de control	Proceso ou ensaio
Materiais	Identificación visual (aspecto, humidade, tamaño máximo) Ensaio de identificación Ensaio Proctor Ensaio CBR
Proceso	Tipo de compactador Peso do compactador Vibración: amplitude e frecuencia Espesor de camada Calidade do apoio da camada Humidade do material colocado Número de pasadas
Produto terminado	Ensaio nucleares (densidade e humidade) Carga con placa (capacidade de soporte) Método da área (densidade) Humidade en estufa (humidade)

5.1.7. Terminación e refino

A última operación da construción de explanacións é a denominada fase de terminación e refino, na que se dan os derradeiros retoques as superficies.

Os seus obxectivos son: axustar a xeometría final ás esixencias do proxecto, garantir un correcto selado da superficie e un comportamento axeitado como capa de apoio dos firmes (uniformidade, regularidade), eliminar zonas nos noiros susceptibles de desprendemento, acadar a maior integración posible no entorno, etc.

A maquinaria que se soe empregar durante as tarefas de axuste da xeometría das superficies son as motoniveladoras (figura 5.4) ou retroescavadoras.



Figura 5.4:
Motoniveladora

6. Formación das explanadas. Estabilización

6.1. A explanada

Anteriormente, definiuse a explanada como a superficie de apoio das capas de firme da estrada, situada na parte superior do seu cimento.

A explanada como superficie de apoio debe ter unha serie de características: xeometría uniforme sen irregularidades, pouco sensible aos cambios de humidade, e presenza de pendentes que permitan a evacuación das precipitacións durante a fase de construción.

Á súa vez, o cimento, como elemento resistente debe ser capaz de soportar o peso propio do firme e das cargas de tráfico sen deformacións excesivas, de forma que se garanta a súa estabilidade volumétrica e a uniformidade xeométrica da explanada.

En función de como se constituía o cimento pódense obter explanadas de diversa calidade. Anteriormente, no apartado dedicado á capacidade de soporte, mencionouse que existe unha relación inversamente proporcional entre a calidade do cimento do firme e o espesor necesario das capas de firme. Polo tanto, explanadas de boa calidade permitirán reducir o custo económico asociado ao firme.

6.2. Clasificación e formación das explanadas

A normativa española de seccións de firmes (Norma 6.1-IC) clasifica as explanadas en tres categorías (Táboa 6.1) en función do módulo de compresibilidade (E_{v2}) obtido no segundo ciclo do ensaio de carga con placa.

Táboa 6.1: Categorías de explanada

Categoría de explanada	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Para que unha explanada poida pertencer a unha determinada categoría é necesario dispor unha serie de materiais de características axeitadas en capas cuns espesores mínimos. A norma 6.1-IC propón unha serie de combinacións para cada categoría en función do tipo de material dispoñible. Considera o emprego tanto de solos naturais como de solos estabilizados in situ.

Para poder interpretar correctamente a figura 6.1 é preciso ter en conta as seguintes consideracións:

- os espesores indicados son os mínimos en calquera punto da explanada;

- os materiais deben cumprir as especificacións recollidas no PG-3, ademais das prescricións complementarias da Táboa 6.2;

- para asignar ao solo subxacente unha determinada categoría é necesario que teña polo menos 1 m de espesor. Se non é así, asígnaselle unha categoría inferior;

-os espesores definidos na figura 6.1 non se poden diminuír mediante a utilización de materiais de mellor calidade;

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{tr} \geq 60 \text{ MPa}$					
	E2 $E_{tr} \geq 130 \text{ MPa}$					
	E3 $E_{tr} \geq 300 \text{ MPa}$					

IN Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)

0 Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)

1 Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)

2 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

3 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

S-EST 1 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 2 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 3 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

HM-20 Hormigón (Art. 610 del PG-3)

tipo de material
espesor mínimo en cm
suelo de explanación o de la obra de tierra subyacente

S-EST 3 30

2

Figura 6.1: Combinacións de materiais e espesores mínimos para a formación de explanadas

Para a capa de coroación, recoméndase o emprego de solos estabilizados in situ, con cal ou cemento, fronte a un aporte directo de solos sen tratar, por razóns de durabilidade e uniformidade da capacidade de soporte da explanada.

6.3. Estabilización de solos

A estabilización dun solo é un procedemento que pretende alcanzar os seguintes obxectivos:

- aumentar a súa resistencia á deformación.
- reducir a súa sensibilidade á auga.
- controlar a súa estabilidade volumétrica.
- controlar a súa erosión.

Existen dous tipos de estabilización: a estabilización mecánica, consistente en mesturar dous ou máis solos de diferentes características para obter como produto un solo de suficiente calidade como para empregar en obra; e a estabilización física ou química, que consiste en engadir aditivos ao solo que modifican as súas propiedades.

A estabilización mecánica é unha técnica que non se emprega moito debido ás súas limitacións. En cambio, a estabilización física ou química está moi estendida, sendo o cemento e o cal os aditivos máis frecuentemente empregados.

Se o que se pretende conseguir é mellorar lixeiramente as propiedades dun solo por medio da adición dunha pequena porcentaxe de aditivo adóitase falar de “solo mellorado con”. Pola contra, se o obxectivo é obter un solo de moita maior calidade é usual denominalo “solo estabilizado con”.

Os solos estabilizados clasifícanse en tres tipos (Táboa 6.3) en función das súas características finais.

Táboa 6.2: Definición de materiais e prescricións complementarias para o seu uso en explanacións

Símbolo	Definición do material	Artigo PG-3	Prescricións complementarias
IN	Solo inadecuado u marxinal	330	O seu emprego só será posible se se estabiliza con cal ou cemento para conseguir S-EST 1 ou S-EST 2
0	Solo tolerable	330	CBR ≥ 3 En capas para formación de explanadas: Contido en materia orgánica < 1% Contido en sulfatos solubles < 1% Inchamento libre < 1%
1	Solo adecuado	330	CBR ≥ 5 (capa de coroación CBR ≥ 6)
2	Solo seleccionado	330	CBR ≥ 10 (capa de coroación CBR ≥ 12)
3	Solo seleccionado	330	CBR ≥ 20
S-EST 1 S-EST 2 S-EST 3	Solo estabilizado in situ con cemento ou cal	512	Espesor mínimo: 25 cm Espesor máximo: 30 cm
HM-20	Formigón de recheo	610	Espesor mínimo: 15 cm

Táboa 6.3: Especificacións de solos estabilizados *in situ*

Característica	Unidade	Norma	Tipo de solo estabilizado		
			S-EST 1	S-EST 2	S-EST 3
Contido de cal ou de cemento	% en masa do solo seco		≥ 2	≥ 3	
CBR, a 7 días	-	UNE 103502	≥ 6	≥ 12	-
Compresión simple, a 7 días	MPa	NLT-305	-	-	$\geq 1,5$
Densidade Proctor modificado	% da densidade máxima	UNE 103501	≥ 95	≥ 97	≥ 98

AVALIACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA

- Na avaliación da aprendizaxe dos conceptos teóricos traballados na unidade didáctica terase en conta a resposta correcta das cuestións tipo test e as cuestións curtas formuladas nas probas de avaliación da materia: probas curtas de control feitas durante o curso e exames parciais.
- Na práctica de laboratorio valorarase, por unha banda, a correcta execución dos ensaios por parte dos grupos e, por outra, os contidos, a estrutura e a claridade expositiva das dúas versións do informe descritivo.
- Terase en conta a atención prestada durante as clases expositivas e a práctica de laboratorio, e o interese amosado pola materia a través dos resumos entregados despois de cada sesión.

ÍNDICE DE FIGURAS

- 1.1: Obras de explanacións [9]
- 2.1: Clasificación dos solos [11]
- 2.2: Criterio de clasificación dos solos segundo a súa plasticidade [11]
- 2.3: Zonas dun recheo tipo terraplén [12]
- 3.1: Diagrama densidade seca – humidade [13]
- 3.2: Curva densidade seca – humidade [14]
- 3.3: Curvas densidade seca – humidade obtidas co mesmo solo para diferentes enerxías de compactación [15]
- 3.4: Compactación por presión estática sen amasado [16]
- 3.5: Compactación por presión estática con amasado (esquerda) [16] e por vibración (dereita) [26]
- 3.6: Curvas densidade seca – humidade obtidas con diversos tipos de solo [17]
- 3.7: Curvas densidade seca – humidade obtidas co mesmo solo en laboratorio e obra [18]
- 3.8: Zona de validez ou aceptación da compactación en obra [19]
- 3.9: Aparato empregado na aplicación do método nuclear (Troxler) [20]
- 3.10: Operario medindo a densidade e a humidade dunha capa de coroaación co método nuclear [20]
- 4.1: Firme, explanada e cimento do firme [21]
- 4.2: Representación gráfica dos resultados dun ensaio CBR [22]
- 4.3: Determinación gráfica do CBR de proxecto [23]
- 4.4: Execución dun ensaio de carga con placa [24]
- 4.5: Representación gráfica dun ensaio de carga con placa [24]
- 4.6: Módulos de compresibilidade mínimos segundo o material e a súa zona de colocación [25]
- 5.1: Pa escavadora cargando nun camión o material escavado [28]
- 5.2: Explanadora (bulldozer) con escarificadores na parte traseira [28]
- 5.3: Mototrailla [28]
- 5.4: Motoniveladora [30]
- 6.1: Combinacións de materiais e espesores mínimos para a formación de explanadas [32]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR (1999): *Geotecnia: ensayos de campo y de laboratorio*, Madrid.
- [2] DÍAZ DEL RÍO, M. (2007): *Manual de maquinaria de construcción*, Madrid: Ed. McGraw-Hill.
- [3] HARRIS, F. (1992): *Maquinaria y métodos modernos en construcción*, traducido por Gonzalo Navacerrada Farias, Madrid: Ed. Bellisco.
- [4] JIMÉNEZ SALAS, J.A. *et al* (1975-1981): *Geotecnia y Cimientos*, Madrid: Ed. Rueda.
- [5] KRAEMER, C. *et al* (2004): *Ingeniería de carreteras. Volumen II*, Madrid: Ed. McGraw-Hill.
- [6] MINISTERIO DE FOMENTO (2003): *Norma 6.1-IC «Secciones de firme» de la Instrucción de Carreteras*, Madrid: Orden FOM/3460/2003 publicada no BOE nº297 do 12 de decembro de 2003.
- [7] MINISTERIO DE FOMENTO (1998): *Normas NLT-I. Ensayos de carreteras*, Madrid: Dirección General de Carreteras.
- [8] MINISTERIO DE FOMENTO (2004): *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)*, Madrid: Dirección General de Carreteras.
- [9] OTEO, C. S. (2004): *Apuntes sobre Geotecnia de Infraestructuras Lineales, materia Enxeñaría do Terreo III*. Universidade da Coruña: ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Inédito).
- [10] TÍKTIN, J. (1997): *Movimientos de tierras : utilización de la maquinaria, producciones y casos prácticos, compactación de materiales, utilización de compactadores*, Madrid: ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Citas de recursos en internet

- [11] AEC - Asociación Española de la Carretera
<http://www.aecarretera.com/> [citado 10 ene 2011]
- [12] Carreteras - Ministerio de Fomento
http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/carreteras/ [citado 10 ene 2011]
- [13] Carreteras y alguna cosa más
<http://www.carreteros.org/> [citado 10 ene 2011]
- [14] Caterpillar - España
<http://espana.cat.com/> [citado 11 ene 2011]
- [15] Concesionario de maquinas viales - representante oficial de la marca TEREX-DOOSAN- COWDIN-EVERDIGM-AFM
<http://www.mativial.es/tl/> [citado 10 ene 2011]
- [16] Construction Industry Premiere Online Resource
<http://www.forconstructionpros.com/> [citado 10 ene 2011]
- [17] KOMATSU EUROPE
<http://www.komatsueurope.com/> [citado 11 ene 2011]
- [18] Maquinaria Volvo
<http://www.volvo.com/dealers/es-es/Volmaquinaria/introduction.htm>
[citado 11 ene 2011]
- [19] "Materiales marginales en el PG-3".
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
Dirección General de Carreteras - Ministerio de Fomento.
A. Parrilla Alcaide.
<http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Art%EDculos%20T%E9cnicos/Materiales%20marginales%20PG3.pdf>
[citado 10 ene 2011]
- [20] Normativa técnica - Carreteras - Ministerio de Fomento
http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/%20%20carreteras/normativa_tecnica/ [citado 10 ene 2011]
- [21] Recursos docentes da materia de Camiños e Aeroportos da Universidade da Coruña
ftp://ceres.udc.es/asignaturas/ITS%20Caminos/2_Ciclo/Caminos_y_Aeropuertos/ [citado 10 ene 2011]
- [22] WALKIA S.A
<http://www.walkia.es/> [citado 10 ene 2011]

[23] Wikivia - La enciclopedia de la Carretera
<http://www.wikivia.org/> [citado 10 ene 2011]



Unha colección orientada a editar materiais docentes de calidade e pensada para apoiar o traballo de profesores e alumnos de todas as materias e titulacións da universidade



SERVIZO DE NORMALIZACIÓN
LINGÜÍSTICA

